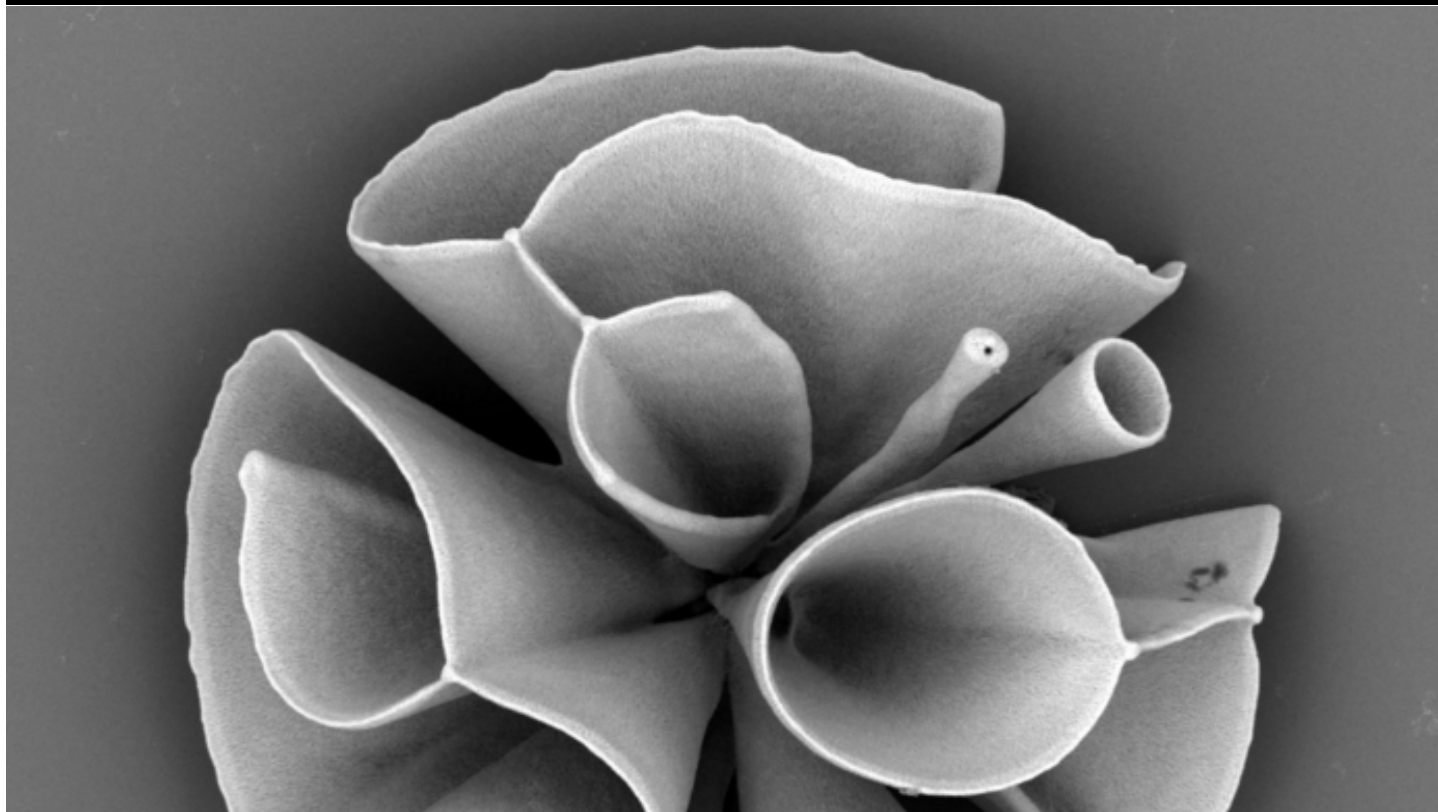




Laser geeft controle op kristalgroei

Martijn Boerkamp | 14 april 2025

Marloes Bistervels ontwikkelde een methode om met licht het complexe proces van kristalgroei met ‘micrometerprecisie’ onder controle te houden. Haar promotieonderzoek bij AMOLF opent nieuwe mogelijkheden om functionele biokristallen te maken. ‘Zodra je die *sweet spot* vindt, kun je de mooiste vormen maken.’

Kristalgroei is superbelangrijk voor de industrie, onder meer voor de productie van medicijnen en composieten. Hoewel we kristallen op grote schaal kunnen produceren, is juist het gecontroleerd laten groeien van enkele kristallen in een oplossing voorbehouden aan natuurlijke processen.

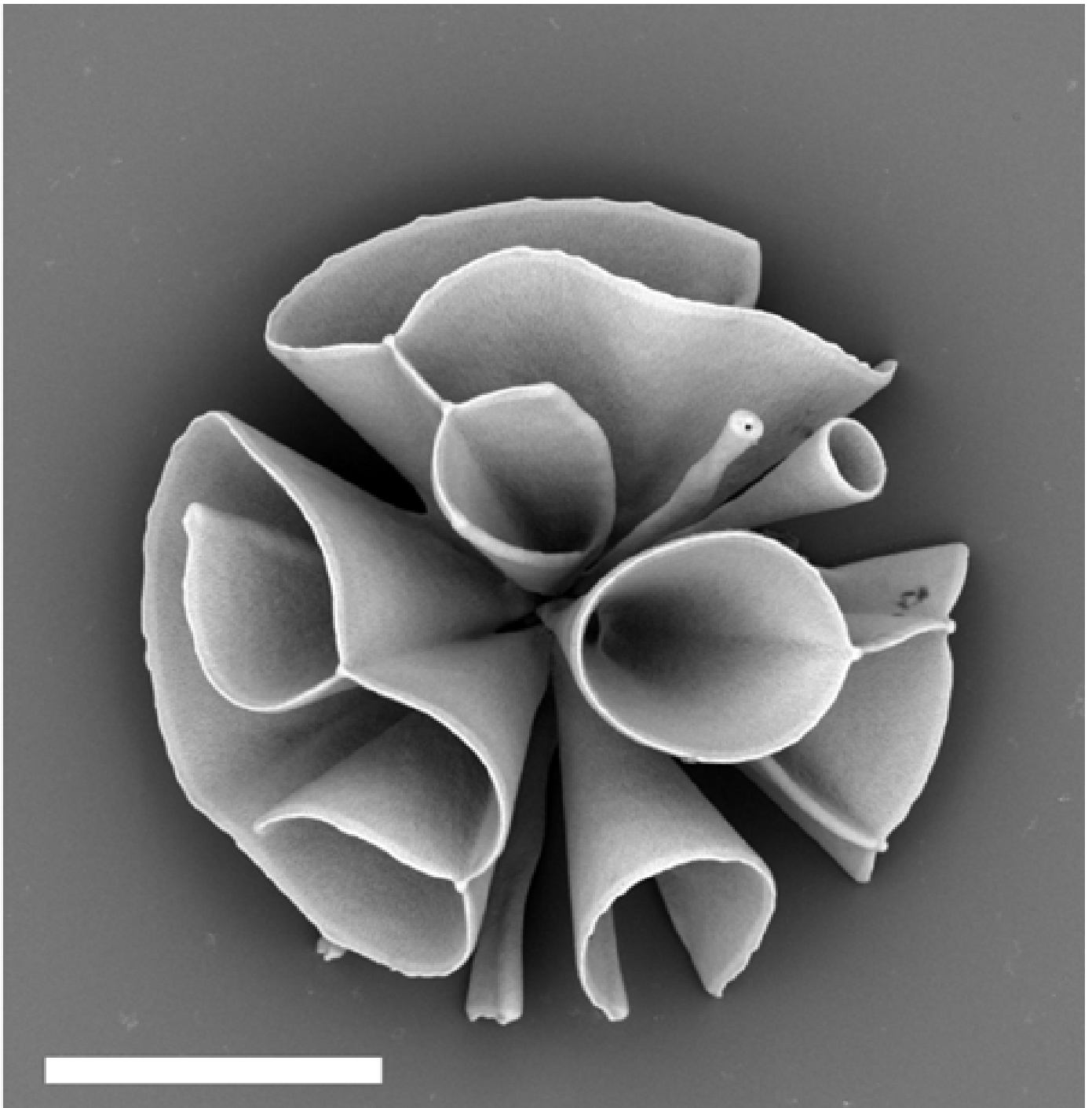
Tot nu, want Marloes Bistervels ontwikkelde, tijdens haar promotieonderzoek bij AMOLF in Amsterdam, een methode waarmee ze met behulp van lasers elke gewenste vorm van een nanocomposiet kan maken. Door deze methode te combineren met een ion-uitwisseling proces — een samenwerking met collega-promovendus Arno van der Weijden — kan $\text{BaCO}_3/\text{SiO}_2$ worden omgezet worden in elke gewenste compositie. Om de kracht van de methode te demonstreren lieten ze een lichtgevend loodmethyllummoniumbromide (PbMABr_3) perovskiet kristal maken en integreerden dat met een $\text{BaCO}_3/\text{SiO}_2$ golfgeleider. Dit materiaal is interessant voor toepassingen in displays of voor communicatie-doeleinden.

Knelpunten

Op papier lijkt het simpel om met lasers de kristalgroei te initiëren en begeleiden, want de positie van een laserfocus kan op de micrometer nauwkeurig worden geregeld. Toch bleek de praktijk anders. Samen met haar promotor Wim Noorduyn kwam Bistervels in een nieuw onderzoeksveld terecht, want uit de literatuur kwam naar voren dat het eigenlijk niet mogelijk is om met lasers lokaal en dynamisch de kristalgroei van biorelevante kristalmineralen te beheersen. ‘Maar we wilden het toch onderzoeken, om goed in kaart te brengen waar precies de knelpunten liggen’, zegt Bistervels.

Hierbij stuitte ze op enkele methodes waarbij het laserprincipe wel werkte, ook al bracht het flinke uitdagingen met zich mee om het werkend te krijgen. ‘Kristallisatie hangt af van zoveel factoren, als je met ons experiment er maar net iets naast zit, gebeurt er niets. Maar zodra je die *sweet spot* vindt, kun je de mooiste vormen maken’, legt ze uit.

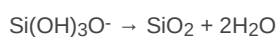
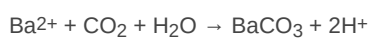
Nucleatie



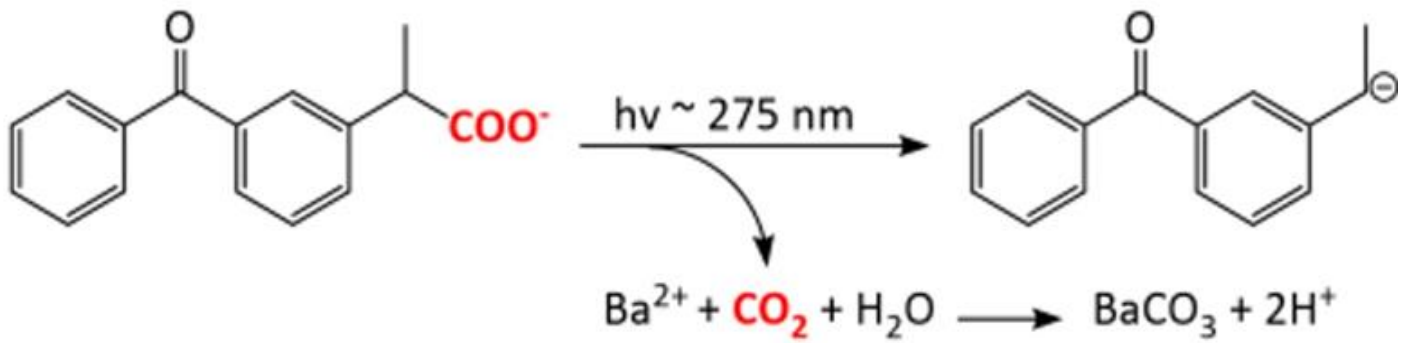
Een enkel BaCO₃/SiO₂ composiet kristal. Het schaalstreepje is 50 micrometer.

Beeld: Marloes Bistervels

'Of je de gewenste vorm van een kristal kan krijgen, hangt af van hoe goed je de nucleatie [het ontstaan van een kristal, red.] en de groei beheerst: deze twee fases hangen van een flink aantal parameters af en zijn bepalend of een kristal überhaupt ontstaat en welke vorm het aanneemt", zegt Bistervels. Haar doel was om biorelevante mineralen, zoals CaCO₃, SrCO₃, BaCO₃, Ca₃(PO₄)₂ en SrSO₄ te maken. Hiermee is het mogelijk om nanocomposieten te maken, zoals die van bariumcarbonaat (BaCO₃) en siliciumdioxide (SiO₂), volgens het volgende proces:



'In de eerste methode die ik onderzocht wordt de concentratie van CO₂ lokaal beheerst, zodat BaCO₃ en daarna SiO₂ samen een composiet vormen dit op kristalachtige bloemen lijkt. Hierbij wordt CO₂ afgesplitst van een molecuul, genaamd ketoprofen, door een LED van 275 nm in de oplossing te focussen op de positie waar het kristal gevormd moet worden', zegt Bistervels. (zie schema hieronder)

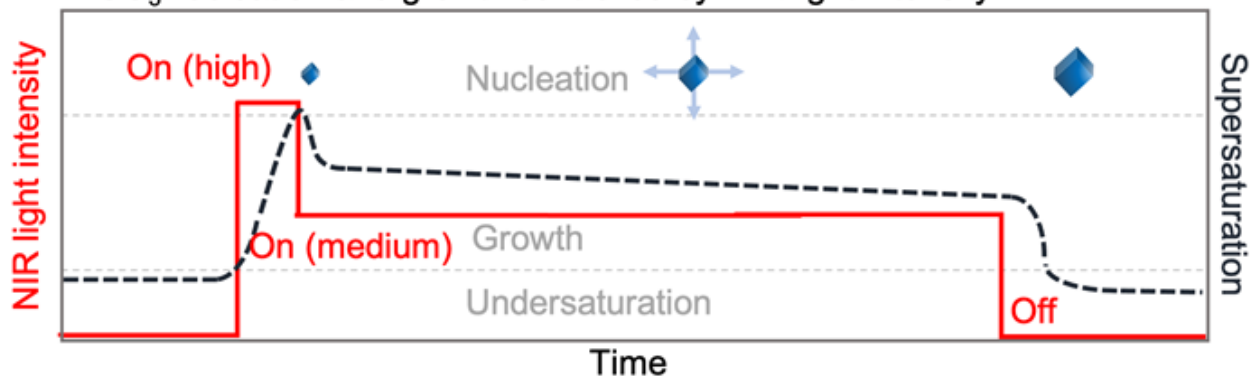


Volgens Bistervels worden, dankzij het licht, de juiste condities gecreëerd voor nucleatie en groei, waarbij de kristalgroei de positie van het licht volgt. Hiermee liet ze zien dat de vorm van het kristal goed onder controle te brengen is. Het licht is hierbij de initiator voor de nucleatie en groei: zet je de lichtbron uit, dan stopt ook de kristallisatie.

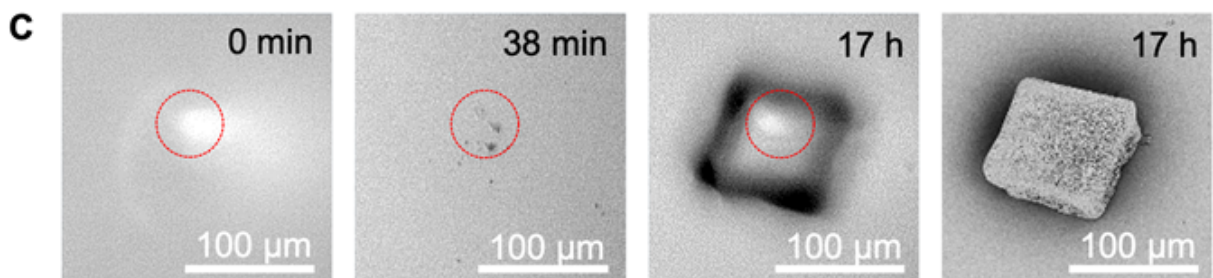
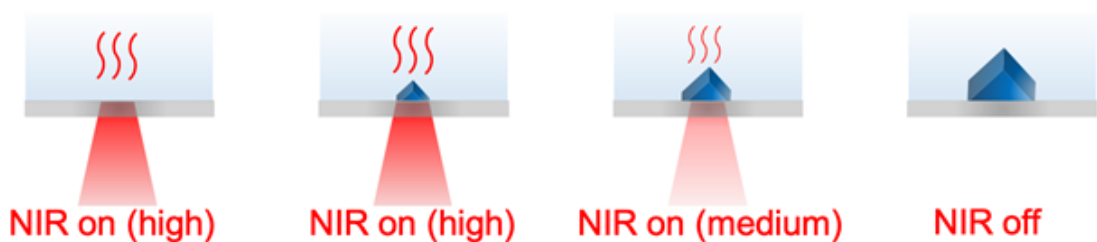
Supersaturatie

In de tweede methode binnen haar onderzoek wordt het water met een laser lokaal verwarmd. BaCO_3 , maar ook andere biorelevante kristalmineralen, zijn zogenaamde reverse solubility componenten, wat betekent dat de oplosbaarheid afneemt bij hogere temperaturen. Er ontstaat zogeheten supersaturatie; er passen dan minder bouwstenen in de vloeistof waardoor ze vaste kristallen vormen. Infrarood laserlicht van 1435 nm kan de temperatuur van water binnen een microseconde laten stijgen. 'En met deze lokale supersaturatie is de vorm van het nanocomposiet te beheersen', aldus Bistervels.

A MCO_3 nucleation and growth controlled by NIR light intensity



B Start heating Nucleation Growth Stop heating



Licht-gestuurde nucleatie en groei van een metaalcarbonaat kristal. NIR-laser zorgt voor een lokale temperatuurgradiënt met spatio-temporele controle waardoor de groei van het kristal met millimeter resolutie wordt geïnduceerd.

Beeld: Marloes Bistervels

‘De twee bovengenoemde methodes beheersen de kristalgroei in twee dimensies. De derde dimensie is lastig, want een laserstraal heeft ook aardig wat energie in het stukje voordat de focus wordt bereikt. Hiermee kan de reactie ook van start gaan en verlies je precisie’. Bistervels legt uit dat voor effectieve kristallisatie in 3D het nodig is om het proces nóg lokaler te beheersen. Dit kan door een krachtige laser van 532 nm met een ultra-korte puls van enkele picoseconden (biljoenste van een seconde) te gebruiken, waarbij een zogenaamde non-lineair proces van 2-foton absorptie wordt geïnitieerd. ‘Dit zorgt er bijvoorbeeld voor dat CO₂ zich alleen in de echte focus van de laser vormt en niet daarbuiten. Daarmee zou elke gewenste 3D kristalvorm gevormd kunnen worden.’

Chiraliteit

Volgens Bistervels begint de interesse vanuit het bedrijfsleven te komen, maar is het onderzoek nu nog puur fundamenteel en kleinschalig. Toch is de potentie volgens haar enorm. ‘We hebben nu volledige controle over het kristallisatieproces en mijn setup wordt al gebruikt om de volgende generatie kristallen te groeien. Denk aan functionele biokristallen of kristallen waarin we de chiraliteit kunnen sturen. De mogelijkheden zijn eindeloos.’